

# インテリジェント機能を有するマイクロカプセルによるマスコンクリートの温度ひび割れ対策技術に関する研究

著者	西山 直洋
号	54
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	工博第4347号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/61733">http://hdl.handle.net/10097/61733</a>

	にし やま なお ひろ
氏 名	西 山 直 洋
授 与 学 位	博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日	平成22年 3月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 都市・建築学専攻
学 位 論 文 題 目	インテリジェント機能を有するマイクロカプセルによる マスコンクリートの温度ひび割れ対策技術に関する研究
指 導 教 員	東北大学教授 三橋 博三
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 三橋 博三 東北大学教授 吉野 博 東北大学教授 持田 灯 教授 坂井 悦郎 (東京工業大学)

## 論 文 内 容 要 旨

近年、コンクリート構造物への高層化・長大化の要求が高まり、これに伴い、コンクリートのマッシュ化や高強度化が求められ、コンクリート強度は60, 100, 150Nmm<sup>2</sup>と、どんどんその要求強度が高まっている。それに加えて構造物の一層の長寿命化の要求から高品質・高耐久性が求められ、ひび割れが発生しないコンクリートが必要不可欠となってきた。

これまでの建築構造物においては、部材寸法が小さいために土木構造物にみられるほどにマスコンクリート対策がなされては来なかったのが現状である。そのため土木構造物や大規模建築構造物には適用可能なマスコンクリート対策技術や新しい材料なども、一般の建築構造物には中々適用できない状況にある。このような背景の中、本論文は、施工方法が簡易で、どの地域においても適用可能なインテリジェント材料を用いたマスコンクリート対策技術を開発し、基礎的な性状は無論のこと実施工現場への適用性をも検討した結果をまとめたものである。

第1章では、上述したような研究の背景・目的及び論文の概要と構成について述べている。

第2章では、マスコンクリートに関する既往の研究の成果について、その特徴及び効果について述べると共に、建築構造物に対応した新しいマスコンクリート対策技術の必要性を説いた。

第3章では、インテリジェント材料とはどのようなものか、各分野でどのような使い方がなされているか、などについて既往の研究の一部を紹介した。すでに実用化されている分野、また研究開発中の分野と様々であり、コンクリート分野における研究は自己修復コンクリートが主流を占めているが、コストの安価なコンクリートに適用するには、まだまだ研究の余地がある。このような背景の中、マスコンクリート対策技術としてのインテリジェント材料の利用は、まったく新しい手法であることを浮彫りにした。

第4章では、遅延剤をマイクロカプセルに内包することによっていかにしてインテリジェント化したのかという事について、その適用概念(図-1)を記述すると共に、遅延剤内包マイクロカプセルの製作に用いられた材料の性質などについて記述している。

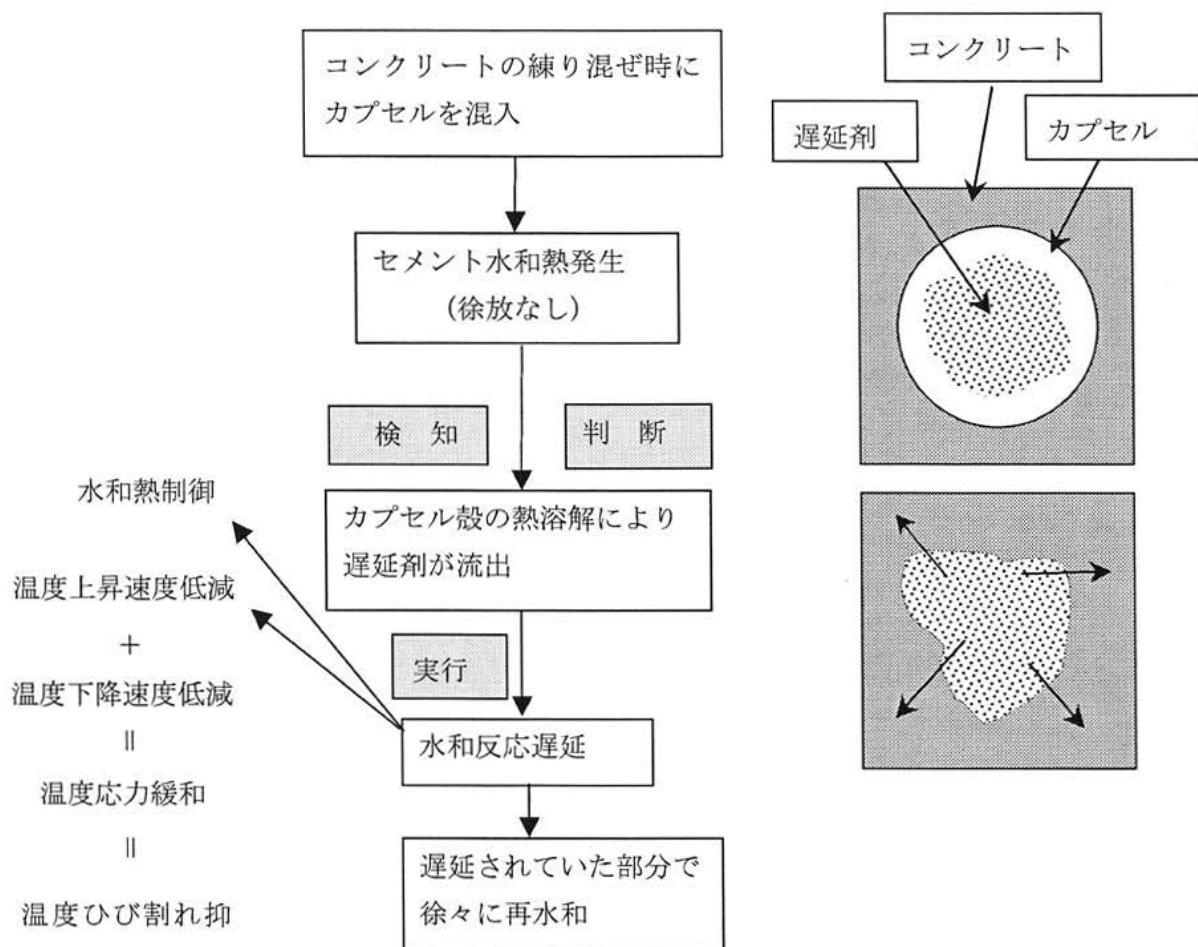


図-1 セメント水和熱の自己制御機能の発現概念図

第5章では、本研究に用いたインテリジェント材料のマイクロカプセル製造方法について述べている。その開発過程において直面した問題点とその解決策を、開発過程でたどった改良プロセスとともに記述している。

第6章では、マスコンクリートの対策技術としてのインテリジェント材料の開発のための検証実験並びに実大施工実験を行うための予備実験の結果と考察について述べた。これらの実験では、まずマイクロカプセルの最適添加量の確認として図-2を得た。また、マイクロカプセル添加時期としてコンクリート練り混ぜ後5分以上経過すれば、遅延剤の効果を安定して発揮できることを確認した(図-3)。この事は、実際のレディーミクストコンクリート工場から運び出されたフレッシュコンクリートに何時、何処でマイクロカプセルを加えるかを決定する上で重要な知見である。

その他、各産地の砂の影響にて遅延剤の効果がどのように変化するか、またセメントの種類に対しても高炉A種・B種および低熱セメントなどについて実験を行った。特に、プレーンコンクリートにおいては水和反応の進展に伴い収縮に転じるのが一般的であるが、遅延剤内包マイクロカプセルを混入したコンクリートにおいては、水和初期に膨張現象を示した(図-4)。但し、図中のOPCはプレーンコンクリート、RAは遅延剤を直接混入、MCは遅延剤内包カプセルを混入した事を表している。このことは、高強度コンクリートの自己収縮ひずみ低減の上からの大いに有効な特性と考えられる。

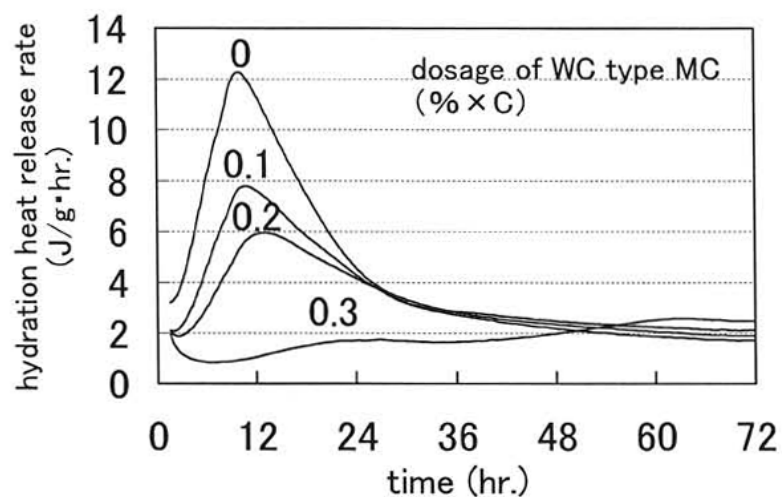


図-2 OPC を用い他モルタルの水和発熱速度に及ぼすカプセル添加率の影響

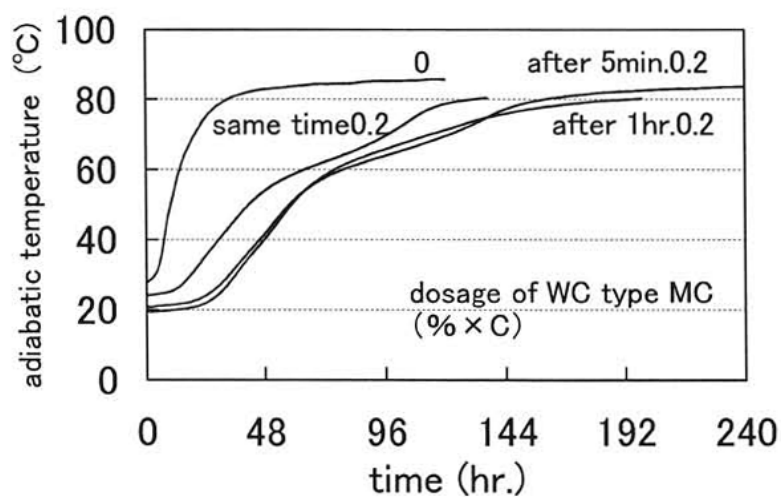


図-3 断熱温度上昇速度に及ぼすカプセルの添加時期の影響

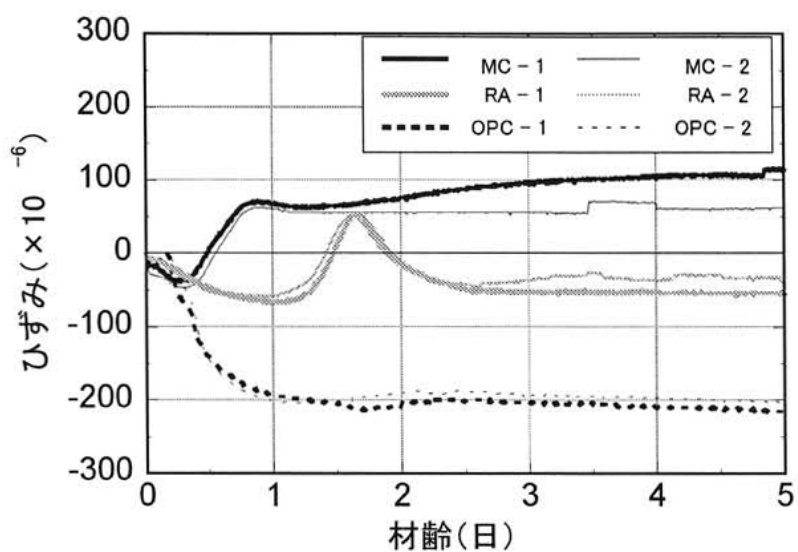


図-4 ひずみ変化過程に及ぼす内包各セルの影響

第7章では、一般のレディーミクストコンクリート工場からアジテータ車で運ばれたフレッシュコンクリートに、これら遅延剤内包マイクロカプセルを混入して大型試験体（一辺の長さが1mの立方体）を打設し、施工性ならびにコンクリート温度の制御効果の検証実験を行った。また、その実験結果より、内部拘束によるマスコンクリートマイクロカプセルの添加によってどれだけ低減できるかを定量的に比較検討した。

その結果、以下のことが確認された。

（1）レディーミクストコンクリートを用い、実際の現場に適用可能な方法、即ちアジテータ車による荷卸し地点でのマイクロカプセル添加・攪拌実験を行い、施工上の問題点はない事を確認した。

（2）コンクリートの性能としては、プレーンコンクリートと比較して4週強度でほぼ同等か、それ以上の強度を発揮することの確認、13週強度は、プレーンコンクリートの場合よりも更に増進、そしてマイクロカプセルの添加によるスランプの上昇、即ち施工性の向上を確認した。

（3）大型試験体を作製してフレッシュ時からのコンクリート温度の変化過程を計測し、マイクロカプセルに内包された遅延剤をセメント質量に対して0.129%混入した場合、コンクリートの最高温度が約10℃低下すると共に、コンクリート温度の上昇速度も約53.4%に低減される事を確認した。

（4）計測されたコンクリート温度の部材内分布から内部拘束による温度応力を推定し、最大温度応力時の応力-強度比を算定したところ、マイクロカプセル混入によってプレーンコンクリートの場合に比べて約40～50%低下させることができた。

第8章では、マスコンクリートの外部拘束による温度応力の問題に対して、実構造物を模擬した部分実大実験を行った。

本実験は、既設コンクリートに立ち上がるコンクリート壁体に発生する温度ひび割れ対策として、打継ぎ面にマイクロカプセルを混入したコンクリートを打設することにより、外部拘束を緩和し、温度ひび割れを抑制することが可能であるかどうかを検討するものである。

本実験の結果以下のことが確認された。

（1）マイクロカプセルをコンクリートに混入することで、マスコンクリートに生じる発熱を低下させ、発生する温度応力を低くし、自己収縮を抑制することができると明らかになった。

（2）温度履歴の測定結果より、初期の立ち上がりについてはプレーンコンクリートとほぼ同等の温度上昇速度であったが、セメント質量に対する遅延剤混入率0.2%で最高温度が5℃、同じく0.5%で10℃程度の温度抑制効果が確認された。

（3）外部拘束については、通常はひび割れ発生確率が高いとされる10日の時点に於いて、測定の全ての箇所プレーンコンクリートよりもマイクロカプセル混入コンクリートの方が安全側になっていることが確認された。

第9章では、第1章から第8章で得られた本研究の成果を要約した。即ち、マスコンクリートで問題となる内部拘束及び外部拘束のどちらの場合においても、本研究で開発した遅延剤内包マイクロカプセルを用いたインテリジェント対策技術がコンクリートの温度や温度応力の低減に有効であり、今後のマスコンクリート対策技術として十分期待出来るものであることを明らかにした。

# 論文審査結果の要旨

本論文は、施工方法が簡易で、どの地域においても適用可能なインテリジェント材料を用いたマスコンクリート対策技術を開発し、基礎的な性状のみならず実施工現場への適用性をも検討した結果をまとめたものである。

第1章は序論である。

第2章では、マスコンクリートに関する既往の研究を概観すると共に、建築構造物に対応した新しいマスコンクリート対策技術の必要性を説いている。

第3章では、インテリジェント材料とはいかなるものか、また各分野ではどのような使い方がなされているかを述べ、マスコンクリート対策技術としてのインテリジェント材料の利用は、全く新しい手法であることを浮彫りにしている。

第4章では、遅延剤をマイクロカプセルに内包することによって、いかにしてインテリジェント化したのかについて述べている。

第5章では、本研究に用いたインテリジェント機能を有するマイクロカプセルの製造方法について述べている。

第6章では、マスコンクリートの対策技術として、遅延剤内包マイクロカプセル混入によるコンクリート温度の低減への有効性を検証するために、その添加量や添加時期、セメントや砂の種類などの影響について実験的に検討を加えている。

第7章では、一般のレディーミクストコンクリート工場からアジテータ車で運ばれたフレッシュコンクリートを用いて内部拘束を受ける大型試験体による実機試験を行い、コンクリート温度やひずみを測定することにより、コンクリート温度応力の低減を確認している。その結果、本研究で開発したマイクロカプセルを用いる手法がマスコンクリート対策技術として有効であることを検証している。

第8章では、外部拘束を受ける大型試験体を用い、実構造物の施工を模擬した部分実大実験を行い、本研究で開発したマスコンクリート対策技術の有効性を確認している。

第9章は結論である。

以上要するに、本論文は建築構造物の大型化に伴って問題となるマスコンクリートの温度応力を低減する方法として、遅延剤内包マイクロカプセルを開発し、その有効性を様々な実験によって検証したもので、建築学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。